

INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES
CURSO DE PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR DA FORÇA AÉREA

2006/2007



TII

DOCUMENTO DE TRABALHO

O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A FREQUÊNCIA DO CURSO NO IESM SENDO DA RESPONSABILIDADE DO SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOCTRINA OFICIAL DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA.

**MANUTENÇÃO DE FROTAS ENVELHECIDAS
DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA, ANÁLISE
DE PROGRAMAS DE EXTENSÃO DE VIDA E
OPTIMIZAÇÃO DO SEU *PHASE-OUT***

**Nuno Miguel Leite Lavado
CAP/ENGAER**

Lisboa 2007



INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES

**MANUTENÇÃO DE FROTAS ENVELHECIDAS DA
FORÇA AÉREA PORTUGUESA, ANÁLISE DE
PROGRAMAS DE EXTENSÃO DE VIDA E OPTIMIZAÇÃO
DO SEU *PHASE-OUT***

CAP/ENGAER Nuno Miguel Leite Lavado

Trabalho de Investigação Individual / CPOS/FA 2006/2007

Orientador: TCOR/ENGEL Sérgio Nolasco

Lisboa 2007

Agradecimentos

Um trabalho de investigação representa sempre um misto de esforço, de trabalho, de partilha de ideias, de frustrações, de tristezas e de alegrias! Durante a sua execução, sentimos um aumento de conhecimento sobre nós próprios, sobre aqueles que nos rodeiam e, claro, sobre o assunto que nos debruçamos.

Quando nos aproximamos das conclusões, sentimos que nos estamos a aproximar do objectivo...ou não... e começamos um processo de modificações e mais modificações até conseguirmos exprimir aquilo que realmente pretendemos. Sim, isso é o que esperamos!

Assim que o conseguimos, devemos agradecer aos colaboradores, aos amigos, à família e a todos aqueles que de uma ou outra forma contribuíram para a elaboração do trabalho.

Índice

Introdução.....	1
1 - Envelhecimento de aeronaves.....	6
2 - Modelo de sustentação de frotas envelhecidas de Kopp.....	8
a. Metodologia de manutenção a adoptar.....	8
b. Qualidade na manutenção.....	9
c. Utilização de pessoal qualificado.....	9
d. Tempo de recuperação.....	10
e. Abastecimento e ciclo de vida de um componente.....	10
f. Flexibilidade e adaptabilidade.....	11
g. Modernização de equipamentos.....	12
3 - Modelo da curva da banheira.....	12
a. Análise da <i>Curva da banheira</i> por Kopp.....	12
(1) <i>Curva da banheira</i>	12
(2) Fiabilidade	14
(3) Disponibilidade.....	14
(4) Necessidades logísticas.....	15
b. Análise da <i>Curva da banheira</i> por Caruso.....	17
4 - O Modelo AAMP “Ageing Aircraft Management Program” de apoio à gestão de frotas envelhecidas.....	21
a. O processo AAMP.....	23
b. Monitorização do Sistema de Armas.....	24
c. Fórum de Aeronaves Envelhecidas.....	24
d. Lista de Tarefas Principais.....	25
e. Investigação e Relatório.....	26
f. Gestão da Sustentação de um Sistema de Armas.....	27
g. Considerações Orçamentais.....	27
Conclusões.....	29
Bibliografia.....	34

Índice de figuras

Figura 1: <i>Curva da banheira</i> , de fiabilidade.....	14
Figura 2: A <i>curva da banheira</i> representa uma grande variedade de processos de envelhecimento associados a diferentes materiais.....	19
Figura 3: Aumento da taxa de falhas na <i>curva da banheira</i> tradicional, o qual não representa o fim de vida de uma aeronave.....	21

Figura 4: Extensão da <i>curva da banheira</i> , prolongamento da vida útil de uma plataforma.	23
Figura 5: O processo AAMP (“ <i>Ageing Aircraft Management Program</i> ”).....	24

Resumo

A Força Aérea Portuguesa opera algumas aeronaves que se encontram numa fase avançada do seu ciclo de vida. Estas aeronaves apresentam muitos problemas resultantes do desgaste em operação e dos mecanismos do envelhecimento. Estes problemas conduzem a acções de manutenção e de monitorização permanente das frotas, através de programas específicos de acompanhamento que não foram previstos pelo fabricante na fase de projecto da aeronave. Para que a metodologia de manutenção adoptada seja adequada às necessidades operacionais e coerente com o envelhecimento das frotas, há que ter em conta alguns factores os quais, se devidamente analisados, conduzirão à extensão de vida de uma frota e à sua operação segura.

Pretende-se com este trabalho de investigação obter mais conhecimento sobre a temática da gestão do envelhecimento das aeronaves e sobre os factores que contribuem para a tomada de uma determinada decisão relativamente a um sistema de aeronave ou a uma aeronave, que conduza à sua reparação, modernização ou retirada de serviço, em determinadas fases do seu ciclo de vida e que conduzem a um programa de gestão bem definido, estruturado e ajustado. A gestão do envelhecimento de aeronaves deve resultar de um processo que permita identificar problemas desse envelhecimento, da manutenção, dos recursos e das capacidades técnicas e logísticas, todos eles influentes na gestão de longos ciclos de vida na aviação.

Gerir o envelhecimento de aeronaves não diz respeito apenas à segurança de voo, à disponibilidade de meios ou à economia de recursos. Diz respeito a um melhoramento contínuo e adaptado da manutenção das aeronaves, através de uma atitude pró-activa e reactiva, a qual permite acompanhar e sustentar as aeronaves por 20, 30 ou mais anos, excedendo por um período muito longo o seu ciclo de vida inicialmente previsto.

Há que fazer uma previsão adequada de custos para uma frota envelhecida, de acordo com as necessidades operacionais, a fim de elaborar um plano de custos detalhado com a maior antecedência possível. No entanto, deverá ser avaliada a relação custo/benefício de uma determinada acção, pois esta pode não se justificar a prazo. Deverá ser analisado o período de rentabilização do investimento que, no máximo, deverá ser igual ao período de operação remanescente para a plataforma em causa.

Os modelos analisados neste trabalho reflectem as metodologias utilizadas por outros operadores no acompanhamento de frotas sujeitas a mecanismos de envelhecimento em fases avançadas do seu ciclo de vida. A pesquisa efectuada baseou-se principalmente

em artigos relacionados com gestão do envelhecimento de aeronaves, com o objectivo de validar as hipóteses que permitirão dar resposta às perguntas derivadas e à pergunta de partida.

Abstract

The Portuguese Air Force operates some aircrafts in an advanced phase of its life cycle. These aircraft present many problems resulting from the mechanisms of aging. These problems lead to additional maintenance procedures and permanent monitoring of the fleets, through specific programs of support that had not been foreseen by the manufacturer in the project of the aircraft. So, the maintenance methodology adopted is adjusted to the operational needs and should be coherent with the aging of the fleets, taking in account some factors which, if duly analyzed, will lead to the safe operation of a fleet for long periods of time.

It is intended with this work to get more knowledge on the thematic of the management of aircraft aging and on the factors that contribute to take a decision concerning a system of aircraft or an aircraft itself, that leads to its repair, mid life update program or phase-out in any phases of its life cycle. These factors will lead to an optimal management program. The management of aircraft aging must result of a process that allows to identify problems of aging, maintenance, resources, logistic and technical capabilities, all influent in the management of long life cycles in aviation.

The management of aircraft aging is not only a matter of flight safety, availability or economy of resources. It respects to a continuous and adapted improvement of the maintenance of the aircraft, through an proactive and reactive attitude, which allows to follow and to support the aircraft for 20, 30 or more years, exceeding for a very long period its initial life cycle.

It's very important an adequate plan of costs for an aged fleet, in accordance with the operational needs. The period of recovery of the investment will have to be analyzed and, in the maximum, will have to be equal to the period of remaining operation for the platform in cause.

The models analyzed in this work reflect the methodologies used by other operators in the accompaniment of their fleets, to overcome the mechanisms of aging in advanced phases of its life cycle. The research was based mainly on articles related with management of aircraft aging, with the objective to validate the hypotheses that would allow to give the answers to the principal and secondary questions.

Palavras chave

Aeronave Envelhecida, Fiabilidade, Disponibilidade, Manutibilidade, Envelhecimento de Aeronaves, *Curva da banheira*, Sistema de Armas, Ciclo de Vida, Vida Útil, Manutenção, Célula, Monitorização, Plataforma.

Lista de abreviaturas

AAMP – “*Ageing Aircraft Management Program*”

BA11 – Base Aérea N° 11

DoD – “*Department of Defense*”

FAA – “*Federal Aviation Authority*”

FAP – Força Aérea Portuguesa

LOT – “*Life of Type*”

MLU – “*Mid Life Update*”

MTBF – “*Mean-Time-Between-Failure*”

MTTR – “*Mean-Time-To-Repair*”

NASA – “*National Aeronautics and Space Administration*”

RAM – “*Reliability, Availability and Maintainability*”

RCM – “*Reliability Centered Maintenance*”

R&D – “*Research and Development*”

USAF – “*United States Air Force*”

Introdução

Justificação e interesse do tema

Este trabalho de investigação na área da gestão de aeronaves envelhecidas reflecte a necessidade sentida pelo autor de obter mais conhecimento nesta área, após quatro anos a desempenhar funções como gestor técnico da frota Alpha Jet. Durante este período, foram sentidas dificuldades na gestão da frota devido a problemas resultantes do envelhecimento da mesma, não previstos pelo fabricante durante a fase de projecto da aeronave.

A Força Aérea Portuguesa (FAP) opera várias aeronaves com mais de 20 anos de serviço as quais, se a sua vida útil puder ser prolongada a custos razoáveis e enquanto existirem requisitos para o cumprimento da sua missão, permanecerão em operação.

A FAP planeia substituir algumas destas aeronaves por outras, mais recentes ou novas, mas a sua substituição demorará alguns anos. Devido aos elevados custos associados à aquisição de uma determinada aeronave, algumas aeronaves que se encontram em serviço serão mantidas em operação durante um período muito superior ao que foi definido na sua fase de projecto.

Objecto de estudo e sua delimitação

Assim sendo, existindo a necessidade de a aeronave Alpha Jet estender a sua vida operacional por mais dez anos, é necessário desenvolver metodologias que possam sustentar tecnicamente a operação em segurança e permitir o desenvolvimento de programas de extensão de vida. A metodologia utilizada para responder a este desafio é omissa na FAP, não existindo literatura de referência sobre este assunto e sobre os factores a considerar no acompanhamento do envelhecimento das frotas. Assim, durante a fase de pesquisa para este trabalho, o autor encontrou metodologia utilizada por outros operadores, a qual será descrita ao longo do trabalho, tentando através da mesma encontrar resposta à pergunta de partida e às perguntas derivadas e aumentar o conhecimento na área da gestão do envelhecimento de aeronaves.

O autor irá também propor a implementação de uma metodologia de análise de problemas resultantes do envelhecimento das frotas envelhecidas, de forma a encontrar as melhores soluções para os resolver segundo uma determinada prioridade, tendo em conta as dificuldades técnicas e logísticas de cada frota e a viabilidade económica da sua resolução.

Apesar de ser usada muitas vezes como referência a frota Alpha Jet devido à experiência do autor, toda a metodologia aqui analisada poderá ser aplicada a qualquer sistema de armas.

Pretende-se também que este trabalho possa constituir uma ferramenta de apoio para a resolução de problemas relacionados com a área da gestão de envelhecimento de frotas de aeronaves.

Metodologia

No enquadramento em que se desenvolve este trabalho, surgiu a seguinte pergunta de partida: **Quais os instrumentos que poderão sustentar as decisões relativas ao ciclo de vida de frotas envelhecidas da Força Aérea?**

Esta pergunta terá associadas as seguintes perguntas derivadas, para as quais serão dadas as respostas ao longo do trabalho, contribuindo assim para a resposta à pergunta de partida:

- **Quais os instrumentos que poderão sustentar as decisões de reparar, estender a vida ou retirar de serviço uma aeronave envelhecida?**
- **Como será acompanhada a sua extensão de vida?**

A fim de dar resposta às perguntas derivadas, foram formuladas as seguintes hipóteses, cuja validação será concretizada no desenvolvimento do trabalho e respectivas conclusões:

- Uma decisão que conduza à reparação, a um programa de extensão de vida ou à retirada de serviço de uma determinada aeronave deve resultar de uma análise profunda de factores técnicos e logísticos.
- A *curva da banheira* é um instrumento adequado de apoio à gestão do envelhecimento de aeronaves.
- A gestão do envelhecimento de aeronaves deve resultar de um processo que permita identificar problemas do envelhecimento, de manutenção, de recursos e de capacidades técnicas e logísticas, todos eles influentes na gestão de longos ciclos de vida na aviação.

A pesquisa bibliográfica efectuada baseou-se principalmente em artigos relacionados com gestão do envelhecimento de aeronaves, com o objectivo de validar as hipóteses que permitiriam dar resposta às perguntas derivadas e à pergunta de partida.

Os modelos analisados neste trabalho reflectem as metodologias utilizadas por outros operadores no acompanhamento de frotas sujeitas a mecanismos de envelhecimento em fases avançadas do seu ciclo de vida, as quais foram apresentadas na “*Aging Aircraft Conference*”, que se realiza anualmente nos Estados Unidos e é organizada conjuntamente pela FAA (“*Federal Aviation Authority*”), pelo DoD (“*Department of Defense*”) e pela NASA (“*National Aeronautics and Space Administration*”). Dos modelos consultados, consideraram-se de maior interesse os de Carlo Kopp (“*Australian Aviation*”), Hank Caruso (“*The Titan Corporation*”) e de Richard Gauntlett (“*Boeing Austrália Limited*”), os quais constituem três modelos de gestão do envelhecimento de aeronaves que serão discutidos ao longo do trabalho. Os autores referidos anteriormente possuem uma vasta experiência em assuntos técnicos e logísticos associados ao envelhecimento de frotas de aeronaves e colaboram nesta área com instituições governamentais, educacionais ou privadas. Possuem ainda vários artigos e livros publicados sobre esta temática.

Estrutura e conteúdo

Para melhor compreender os factores associados à gestão de frotas envelhecidas, interessa compreender a abrangência da designação *aeronave envelhecida*, a qual é descrita no primeiro capítulo do trabalho.

No segundo capítulo, é abordado o modelo de sustentação de frotas envelhecidas de Kopp, o qual se baseia em sete factores que, se devidamente considerados ao longo do ciclo de vida das aeronaves, conduzirão a uma gestão pró-activa do envelhecimento de uma frota.

No capítulo três será analisado o modelo de gestão do envelhecimento de aeronaves tendo como base a fiabilidade dos sistemas, através da *curva da banheira*, que representa graficamente esta fiabilidade. Para a discussão deste modelo, são consideradas duas metodologias, de acordo com as teorias de Kopp e de Caruso.

No quarto capítulo será discutido o modelo de Gauntlett, o processo AAMP (“*Ageing Aircraft Management Program*”) de gestão do envelhecimento de frotas, o qual não só identifica problemas do envelhecimento, mas também de manutenção, de recursos e de capacidades técnicas e logísticas, todos eles influentes no fim de vida dos componentes.

Por último, apresentam-se as principais conclusões da investigação efectuada dando particular relevância aos modelos discutidos e à identificação de algumas propostas que resultaram da elaboração deste trabalho.

Corpo de conceitos

No decurso deste trabalho será frequentemente utilizada terminologia própria que no âmbito do mesmo será assim definida:

Aeronavegabilidade: capacidade demonstrada por uma aeronave, sub-sistema ou componente de uma aeronave de funcionar satisfatoriamente, quando utilizados dentro dos limites especificados.

Célula: Conjunto de elementos estruturais de uma aeronave que a estabelecem como um conjunto e que funcionarão como suporte a outros elementos estruturais secundários e a equipamentos.

Carga (G): Factor de carga, o qual reflecte o esforço estrutural ao qual a aeronave está sujeita e é definido como a relação entre a sustentação da aeronave e o seu peso.

Carga limite: Factor de carga máximo que a aeronave pode suportar em serviço mantendo a sua integridade estrutural, sem sofrer qualquer deformação permanente.

Ciclo de vida: Período que decorre desde a entrada em serviço de um determinado componente e a retirada de serviço do mesmo.

Componente, órgão, produto, sistema ou subsistema: estes termos referem-se a conjuntos eléctricos, electromecânicos, mecânicos, hidráulicos ou estruturais que desempenham uma função operacional específica a bordo de uma aeronave.

Disponibilidade: rácio entre o tempo efectivo de funcionamento regular de um sistema e o tempo total planeado para o seu funcionamento.

Fiabilidade: é a probabilidade de um sistema desempenhar a sua operação adequadamente dentro de determinadas condições operativas e durante um período de tempo pretendido (ou outra variável de referência) e é identificada por $R(t)$.

Manutenção: é a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um componente, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que possa cumprir as funções requeridas.

Manutenção Centrada na Fiabilidade (“RCM–Reliability Centered Maintenance”): trata-se do método para determinar qual o tipo de manutenção que é mais apropriado para cada equipamento, com base nos seus mecanismos de falha e consequências. A ênfase recai sobre o que o sistema faz (do ponto de vista da sua função efectiva) e não no que o sistema é (do ponto de vista da sua capacidade inerente).

Manutibilidade dos sistemas: é a rapidez e facilidade com que as intervenções de manutenção podem ser realizadas nesses sistemas.

Monitorização: Conjunto de actividades destinadas a acompanhar o comportamento de determinado equipamento, recorrendo a metodologias e técnicas de recolha de dados ou de tratamento de indicadores.

MTBF (“Mean-Time-Between-Failure”): tempo médio entre falhas, aplicado a componentes, sistemas e veículos.

MTTR (“Mean-Time-To-Repair”): tempo médio por reparação.

Plataforma: Aeronave que para além da sua configuração de base, tem capacidade de integrar um conjunto de equipamentos e armamento que poderão ampliar as suas capacidades.

“Phase-Out”: Processo de retirada de serviço faseada das aeronaves de uma determinada frota. Estará concluído o “Phase-Out” de uma frota quando a última aeronave cessar a sua utilização operacional.

1. Envelhecimento de aeronaves

Actualmente a Força Aérea Portuguesa (FAP) opera várias frotas que se encontram perto do fim do ciclo de vida para que foram projectadas e fabricadas. No entanto, se a sua vida útil puder ser prolongada a custos razoáveis, estas permanecerão em operação por muitos mais anos, ultrapassando em muito o período previsto inicialmente para a sua operação segura. A frota Alpha Jet, por exemplo, encontra-se actualmente no limite da sua vida operacional, a qual será atingida, de acordo com o fabricante, dentro de cerca de três anos. No entanto, está actualmente em avaliação um programa de extensão de vida para esta frota, permitindo a manutenção da mesma em operação por mais dez anos. Para se efectuar este trabalho, é necessário considerar vários factores, logísticos e técnicos, que deverão ser detalhadamente avaliados para que se consigam encontrar as melhores soluções de sustentação da frota durante esse período.

Pretende-se com este trabalho obter mais conhecimento sobre a temática da gestão do envelhecimento das aeronaves e sobre os factores que contribuam para a tomada de uma determinada decisão relativamente a um sistema ou a uma frota, que conduza à sua reparação, modernização ou retirada de serviço, em determinadas fases do seu ciclo de vida e que conduzam a um programa de gestão bem definido, estruturado e ajustado.

Para melhor compreender os factores associados à gestão de frotas envelhecidas, interessa compreender a abrangência da designação *aeronave envelhecida*.

A gestão de frotas envelhecidas não é tão convidativa quanto o desafio de receber e implementar uma nova frota, de tecnologia recente mas a gestão de frotas envelhecidas é praticada pela maioria das Forças Aéreas e faz apelo a conhecimentos científicos e tecnológicos que estão na vanguarda do estado da arte (Velarde, 2006).

Uma das realidades do mundo aeronáutico é que uma aeronave começa a envelhecer assim que abandona a linha de produção e começa a ser operada. Começará, a partir desse momento, a acumular danos por fadiga nos componentes estruturais, irá sofrer desgaste em componentes mecânicos móveis e eléctricos e sofrerá corrosão de vários graus em várias localizações. Também uma grande variedade de materiais não metálicos da célula e sistemas irão degradar-se ao longo do tempo. Neste sentido qualquer aeronave encontra-se em processo de envelhecimento (Velarde, 2006).

Em termos de engenharia utiliza-se a designação “aeronave envelhecida” para definir uma aeronave que exhibe um ou mais efeitos sistemáticos da idade ou do uso, tais como fadiga estrutural, corrosão ou falha dos componentes devido a desgaste. Os

engenheiros de fadiga tendem a ser mais selectivos e definem aeronave envelhecida como sendo aquela que excedeu a sua vida útil, isto é, aquela para a qual a célula foi certificada durante o projecto da aeronave. Dependendo da severidade e frequência de utilização, os efeitos do envelhecimento podem desenvolver-se em três, cinco, dez, 15, 20 ou mesmo 30 anos de operação. As horas de voo da célula podem ser utilizadas como medida de referência para os efeitos do envelhecimento, mas a variação de cargas que a aeronave experimenta em diferentes tipos de perfis de missão pode tornar esta medida questionável como indicador da vida remanescente de uma aeronave. Uma aeronave de combate, por exemplo, que num determinado período atinja várias vezes a sua carga limite máxima, irá acumular danos de fadiga mais rapidamente que outra aeronave similar que atinja em voo cargas inferiores no mesmo período de tempo ou que atinja a sua carga limite máxima com menos frequência.

Talvez o mais importante ponto no conceito “aeronave envelhecida” seja que a vida útil de uma aeronave varia com o seu tipo, com várias versões dentro de determinado tipo e tem uma forte dependência da utilização da aeronave e, especialmente, da forma como a mesma é mantida. Não se deve, por isso, generalizar e retirar conclusões sobre a longevidade de uma aeronave com base na experiência de outra aeronave de tipo diferente, pois não se estará, desta forma, a atingir o objectivo. Para perceber e gerir os efeitos do envelhecimento de uma aeronave é necessário possuir experiência, conhecimentos de engenharia profundos e formação específica no tipo de aeronave.

Estes conhecimentos conduzirão a um programa de gestão bem definido, estruturado e planeado de gestão de uma aeronave envelhecida de um determinado tipo, que poderá estender por décadas a sua vida útil, podendo conduzir a uma grande economia de recursos por parte de um operador.

Para determinar com o maior rigor possível qual a vida remanescente de uma frota ou de um determinado tipo de aeronave, há que desenvolver muito trabalho científico. Deste trabalho poderão obter-se resultados surpreendentes, sejam eles favoráveis ou desfavoráveis à extensão de vida de uma frota.

2. Modelo de sustentação de frotas envelhecidas de Kopp

Neste Capítulo, é abordado o modelo de sustentação de frotas envelhecidas de Kopp, o qual se baseia em sete factores que, se devidamente considerados e analisados, ao longo do ciclo de vida das aeronaves, conduzirão a uma gestão pró-activa do envelhecimento de uma frota e à adopção de uma metodologia de manutenção adequada às necessidades operacionais.

Os assuntos relacionados com gestão de frotas envelhecidas têm sido uma preocupação crescente, ao longo dos anos, para a maioria dos operadores civis e militares. Ao contrário do que aconteceu nos anos 50 e 60, em que o rápido crescimento tecnológico exerceu uma pressão demasiado forte nos operadores civis e militares obrigando-os a substituir rapidamente as suas frotas por frotas mais recentes, no século XXI vive-se um ambiente tecnológico em que se pretende que uma aeronave possa permanecer em serviço e desempenhar a missão para que foi concebida por várias décadas. Na ausência de um competidor tecnologicamente credível para o ocidente, prevê-se que as aeronaves militares ocidentais produzidas nos próximos vinte anos permaneçam em operação por cerca de 40 a 50 anos e, durante esse período, terão que manter a sua integridade estrutural e uma condição de célula que permita a sua modernização em termos de aviónicos e armamento.

a. Metodologia de manutenção a adoptar

O factor principal a ter em conta na gestão de uma frota de aeronaves durante algumas décadas é a metodologia de manutenção adoptada. Uma metodologia de manutenção bem pensada e estruturada, com a monitorização permanente da frota, permitirá detectar possíveis anomalias com maior antecedência, tendo em vista a sua resolução atempada. Desta forma, serão sempre tidos em conta os efeitos do envelhecimento de todos os subsistemas, sistemas e estrutura da aeronave tendo em vista a sua operação em segurança, com a maior prontidão possível. Em geral, componentes que são devidamente reparados, tendo em vista a sua longevidade, apresentam a longo prazo maior rentabilidade do ponto de vista económico. Por outro lado, o tipo de reparação suficiente para resolver o problema durante um curto espaço de tempo apresenta, a longo prazo, custos mais elevados pois o problema irá subsistir. Substituir um componente por outro de maior fiabilidade, fará com que o seu tempo médio entre falhas (MTBF – “*Mean-Time-Between-Failure*”) aumente, pelo que este

necessitará de intervenções entre períodos mais longos. Em certos casos, em termos estruturais poderá substituir-se um componente que nunca mais irá necessitar de intervenção ao longo da vida útil da aeronave. Todas as reparações têm custos associados mas, se a reparação efectuada evitar futuras intervenções no componente ou aumentar o período entre reparações, conduzirá a uma redução nos custos de manutenção do componente ao longo do tempo.

Os componentes estruturais são particularmente sensíveis à qualidade das reparações ou a modificações. O problema clássico surge quando um componente é reparado a fim de remover corrosão ou fissuras, no sentido de estender a sua vida de fadiga em serviço. No entanto, repetindo esta operação várias vezes, está a provocar-se um desgaste cada vez maior no componente. Assim, deve determinar-se qual o limite das intervenções no componente, qual o momento em que se deve efectuar uma reparação mais profunda ou optar pelo fabrico de um novo componente.

b. Qualidade na manutenção

A qualidade da manutenção também é um factor a considerar. Algumas acções de manutenção incorrectamente efectuadas podem originar determinadas anomalias nos componentes as quais, se não forem resolvidas, poderão, a longo prazo, pôr em causa a extensão de vida de um determinado componente ou de uma frota. Por exemplo, se durante o processo de desmontagem de uma asa de uma aeronave não forem utilizadas as ferramentas adequadas e respeitados os procedimentos de remoção, os danos provocados nas fixações da asa e da fuselagem poderão conduzir imediatamente à imobilização da aeronave pois pode não se justificar economicamente a reparação desses danos ou estes poderão tornar-se críticos a longo prazo.

c. Utilização de pessoal qualificado

O conceito de manutenção barata e de rotatividade de sistemas de armas em curtos espaços de tempo não tem imperado, pois tem-se verificado que é quase sempre menos dispendioso manter um sistema de armas existente em operação durante um período de tempo mais longo, desde que devidamente mantido, operado e monitorizado, nunca permitindo a sua entrada numa fase do ciclo de vida em que se verifique uma grande diminuição da fiabilidade dos sistemas.

Programas viáveis de manutenção de frotas e uma manutenção programada e inteligente requerem conhecimentos profundos de engenharia nos sectores de apoio. A utilização de pessoal qualificado, juntamente com uma política de manutenção e qualidade adequada, quase que garantem, por si só, uma maior longevidade de um sistema de armas. O conhecimento e a experiência são importantes, o que tem sido repetidamente provado ao longo dos anos.

d. Tempo de recuperação

Um aspecto importante a ter em consideração para tentar remediar os estragos feitos pela diminuição do nível de competência do pessoal nos sectores de manutenção é o tempo de recuperação, ou seja, o tempo que demora o processo de aprendizagem. Enquanto que recrutar pessoal qualificado demora algum tempo, o tempo de aprendizagem da experiência, das técnicas, das ferramentas e dos processos pode levar anos. Algumas Forças Aéreas têm tido um bom desempenho no que respeita ao sector da manutenção, mas a perda sistemática de pessoal qualificado nos sectores da Gestão de Frotas, Abastecimento e Manutenção devido a uma descontrolada “irracionalidade organizacional” pode prejudicar a qualidade no serviço de apoio às frotas. Os ganhos obtidos a curto prazo, devido a uma determinada reestruturação, podem traduzir-se em perdas a longo prazo.

e. Abastecimento e ciclo de vida de um componente

Um factor de grande importância para a manutenção de frotas envelhecidas é a disponibilidade de componentes que permita colmatar as necessidades de manutenção, reparação e substituição de órgãos ou de outros sistemas das aeronaves, permitindo a sua continuidade em operação.

Quando uma aeronave é produzida, os seus componentes são projectados segundo a metodologia do seu fabricante. Apesar disso, o fabricante adquire vários componentes existentes no mercado para fazer face às suas necessidades e, por vezes, ainda recorre a outros fabricantes para que estes produzam componentes específicos para realizarem uma determinada tarefa na aeronave.

Assim sendo, a disponibilidade de um determinado componente no mercado pode variar significativamente, consoante a sua origem ou função. O ciclo de vida de

um determinado componente compreende as fases de pré-produção, produção em larga escala, produção residual e eventual obsolescência do componente.

Estes factores têm implicações importantes na sustentação das aeronaves, as quais permanecem em operação durante pelo menos duas décadas (Kopp, 2003). Algumas frotas operadas pela FAP já ultrapassaram largamente este período.

Geralmente, enquanto uma aeronave se encontra em produção, é economicamente viável a substituição dos componentes por originais mas, quando a produção cessa, a disponibilidade de componentes vai depender dos stocks remanescentes e frequentemente das células que já não se encontram em estado de operação. Este é o caso de algumas aeronaves Alpha Jet da FAP, que se encontram na BA11.

Um factor importante na vida de uma frota é o de determinar qual será o período em que se deve continuar a utilizar componentes originais, seja através do consumo dos existentes em stock, seja pela contratação da sua produção ao seu fabricante. A utilização de tecnologia mais recente no fabrico do componente torna-o mais fiável e durável. Poderá ser uma grande vantagem económica a substituição de um componente antigo por outro equivalente que se encontra em processo de fabrico para uma aeronave mais recente.

Persistir na utilização de componentes originais com taxas de falha elevadas e de tecnologias dos anos 60, 70 ou 80 poderá ser a pior opção por parte de um operador, dado que a substituição de um componente deste tipo terá um custo muito inferior aos custos a longo prazo da utilização do componente original (Kopp, 2003).

f. Flexibilidade e adaptabilidade

Duas das características mais importantes dos sistemas actuais são a flexibilidade e a adaptabilidade, que permitem a utilização de subsistemas comuns em vários tipos de equipamentos. Tornam também mais viável a modernização de equipamentos já existentes, evitando assim a aquisição de equipamentos novos, nos quais pode não se justificar o investimento.

g. Modernização de equipamentos

A opção de modernizar um determinado sistema ou aeronave assenta em determinados factores. Apesar das vantagens que pode trazer a modernização de um equipamento, há que ter em conta a familiarização do operador com o equipamento, pois após vários anos em serviço a aeronave é bastante bem conhecida por quem a manteve, operou e geriu.

Podem identificar-se algumas deficiências na análise de uma proposta de modernização. São pré-requisitos para a modernização a vida remanescente da célula da aeronave na operação pretendida para a frota (análise da vida de fadiga remanescente, tal como é efectuada na FAP para o Alpha Jet) e a capacidade de uma célula básica suportar os requisitos de performance para cumprir a sua missão perante uma ameaça futura (Kopp, 2005).

A possibilidade de utilização de subsistemas das aeronaves de fabrico recente que se encontram em serviço pode ser explorada considerando que se irá rentabilizar o investimento a longo prazo.

3. Modelo da *curva da banheira*

A *curva da banheira* (ver figura 1) é uma representação da taxa de falhas de um sistema em função do tempo, a qual poderá ser um contributo importante para apoio à gestão do envelhecimento de aeronaves. Com o objectivo de tentar validar a segunda hipótese, foram analisados dois modelos, de Kopp e de Caruso, que reflectem análises diferentes da *curva da banheira* no que respeita à sua utilização como ferramenta de apoio à gestão.

a. Análise da *curva da banheira* por Kopp

(1) *Curva da banheira*

Os teóricos da fiabilidade reconhecem dois modos básicos de falha. O primeiro modo é designado por falha aleatória e é atribuído a defeitos de manufactura não detectados ou devido a danos nos componentes por causas não frequentes. O segundo modo está associado a falha por desgaste e é

atribuído ao desgaste mecânico, corrosão, danos por fadiga e por resultado de efeitos cumulativos em operação, que provocará a falha do componente em serviço.

Outro tipo de falha possível é o dano em combate, o qual é de natureza aleatória e vai depender muito da arma utilizada contra a aeronave.

Cada projecto é o resultado de vários componentes onde cada um destes tem uma taxa média de falhas aleatórias e de um dado tempo de operação para falhas por desgaste. A fiabilidade do projecto como um todo será o resultado do agregado destas falhas. Assim sendo, a fiabilidade total do sistema será, de uma forma simplificada, o produto das fiabilidades de cada componente crítico de cada missão.

Para a gestão de frotas envelhecidas, existe um grande interesse em analisar a *curva da banheira* (ver figura 1), a qual representa a taxa média de falhas de um projecto ao longo do tempo em que este permanece em operação.

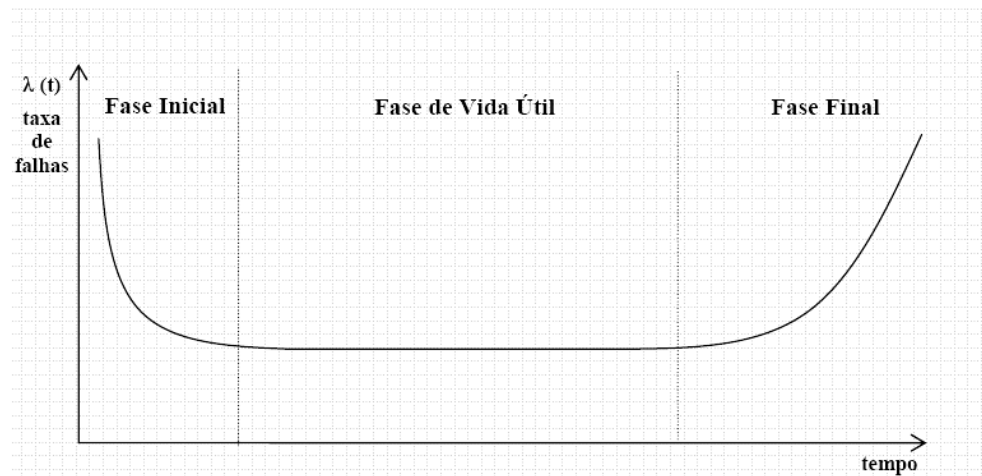


Figura 1 – *Curva da banheira*, de fiabilidade, representando a variação da taxa de falhas durante a vida de um sistema.

Os ciclos de vida de todas as infra-estruturas modernas podem ser traçados de acordo com esta curva de fiabilidade. Analisando esta curva, verifica-se que, estatisticamente, se verifica uma taxa de falhas elevada nas primeiras semanas ou meses após o produto ser entregue pelo fabricante, o qual resulta de defeitos não encontrados pelos testes durante o fabrico, sendo designada por fase inicial ou de “mortalidade infantil”. Após esta fase o produto entra no que se pode designar por fase de “vida útil” durante a

qual exhibe baixas taxas de falha, apesar de esta fase ser definida como o período durante o qual as falhas aleatórias dominam. Finalmente, quando os componentes começam a sofrer desgaste, o produto entra na sua “fase final” e a taxa de falhas aumenta.

A fase de “vida útil” de uma aeronave poderá ser estendida para além do ciclo de vida previsto inicialmente, através da implementação de programas de extensão de vida, da estrutura e sistemas da aeronave, os quais atenuam a degradação de capacidade e fiabilidade durante um certo tempo.

(2) Fiabilidade

A teoria da fiabilidade tem um papel muito importante na gestão do envelhecimento de aeronaves. A análise de fiabilidade permite obter a previsão matemática das taxas de falha de um equipamento, utilizando parâmetros estatísticos para componentes individuais. Com o conhecimento estatístico das taxas de falha para cada componente de um determinado equipamento pode prever-se com um elevado nível de confiança o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) desse equipamento. O projecto pode ser mesmo alterado a fim de se obter um determinado MTBF.

O MTBF é importante pois determina a frequência com que uma aeronave tem que ser reparada, o que o torna uma medida da disponibilidade da aeronave para ser operada. Uma aeronave de combate com um MTBF inferior a uma hora será a *rainha do hangar*, enquanto que a mesma aeronave com um MTBF de várias horas terá uma disponibilidade elevada.

(3) Disponibilidade

Uma medida básica de sucesso na sustentação de uma frota é a disponibilidade, a qual pode ser determinada pelo MTBF e por outro parâmetro designado por Tempo Médio Por Reparação (MTTR – “*Mean-Time-To-Repair*”), da seguinte forma:

$$\text{DISPONIBILIDADE} = (\text{MTBF}) / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

Essencialmente, representa a fracção de tempo durante o qual a aeronave está pronta para o serviço, é uma medida da fracção da força de combate que está pronta para ser utilizada. Tendo 100 aeronaves atribuídas, 40% de disponibilidade significa que existem 40 aeronaves prontas para operação.

Na prática, alguma destas aeronaves estarão a voar com alguns sistemas inoperativos, podendo ficar limitadas para o desempenho de uma determinada missão específica.

A disponibilidade envolve custos. Um indicador possível é o número de homens/hora necessários para manter uma disponibilidade elevada, entre técnicos, mecânicos e engenheiros. Manter uma disponibilidade elevada conduz a um valor elevado de homens/hora, que poderá trazer um aumento de custos à organização. Outra opção é a de adquirir aeronaves ou sistemas com MTBF elevado e baixo MTTR, o que se consegue através da diminuição do número de componentes utilizados nos seus órgãos e pela diminuição dos esforços aplicados a alguns deles (Kopp, 2003).

(4) Necessidades logísticas

Sustentar aeronaves envelhecidas que já não se encontram em produção pode ser difícil. Componentes de substituição programada podem ser mantidos em stock em quantidade suficiente, antecipadamente, a fim de colmatar possíveis necessidades futuras. Devem, portanto, ser consideradas margens de segurança suficientes para fazer face a possíveis necessidades logísticas. Se estas margens não forem calculadas com antecedência, haverá um impacto negativo na operação, dado que os componentes poderão ter uma reparação demorada e, se não existirem substitutos, teremos que canibalizar equipamentos de outras aeronaves ou imobilizá-las por falta de peças. A frota Alpha Jet da FAP tem recorrido a equipamentos de aeronaves imobilizadas. No entanto, mesmo considerando que estas existem, há que fazer uma previsão das existências de componentes substitutos pois todas as reservas têm o seu fim.

Após um determinado fabricante terminar a produção de um componente, mantém, geralmente, um stock remanescente desse componente, cujo valor de mercado, se houver procura, pode aumentar consideravelmente. É muito importante, portanto, considerar o ciclo de vida comercial de um equipamento se se pretender operar durante muitos anos uma determinada aeronave ou sistema. A situação pode piorar pois os fabricantes originais podem vender os stocks existentes a outras empresas mais pequenas e sem qualquer compromisso com os operadores.

As aeronaves são sistemas complexos constituídos por milhares de componentes, os quais, na sua maioria, podem ser reparados ou substituídos. Existem numerosas estratégias para gerir a manutenção de uma frota e ainda para lidar com falhas aleatórias ou de desgaste nos componentes ou subsistemas (Kopp, 2003).

No que respeita a aeronaves envelhecidas, deve estabelecer-se a melhor forma de gerir o desgaste de um componente específico ou de um grupo de componentes da aeronave. Este é um factor essencial a considerar, dado que uma estratégia adequada pode levar à substituição, reparação ou modernização desses componentes, eliminando os problemas técnicos existentes sem comprometer a continuidade em operação do órgão e aumentando a sua fase de *vida activa*.

Deve também ser considerada a retirada de serviço, ou a continuidade em operação do órgão, em função de vários factores, tais como o custo da sua substituição ou da substituição de alguns dos seus componentes, a sua utilidade futura para o sistema onde está integrado e o custo de substituição deste órgão em toda a frota.

As reparações de baixo custo em sistemas de armas de custo elevado aparentam ser sempre uma boa solução, mas o mesmo não se pode dizer de reparações e substituições onerosas em frotas demasiado envelhecidas. Mesmo que tal se possa justificar pelo estado geral da célula de uma aeronave, o sistema de armas pode estar obsoleto na missão para que foi projectado (Kopp, 2005).

b. Análise da *curva da banheira* por Caruso

A análise efectuada pela *curva da banheira* baseia-se principalmente no número de avarias ou ocorrências sofridas por um determinado componente e não na compreensão das causas responsáveis por essas falhas. Assim sendo, a vida útil de determinados componentes complexos não deve ser tratada simplesmente através desta curva. A *curva da banheira* representa um agregado de diferentes mecanismos de progressão de dano e de degradação que ocorrem simultaneamente. O conceito de fim de vida de um componente não é muito apropriado para aeronaves envelhecidas. Um processo contínuo de modificações da aeronave, melhorando a sua performance e estrutura, significa que muitos componentes na aeronave irão ultrapassar o tempo de vida útil para o qual foram projectados. Assim sendo, é necessária uma melhor compreensão dos mecanismos de envelhecimento associados aos vários componentes que constituem uma aeronave e do desgaste que estes sofrem em operação (Caruso, 2006).

São os materiais que se degradam em serviço. Sofrem desgaste, a sua resistência diminui, perdem capacidades de isolamento e eléctricas ou diminuição da sua resistência estrutural. Quando existe uma determinada degradação dos materiais que constituem um determinado órgão, este irá falhar ou nunca mais irá desempenhar a sua função convenientemente dentro de tolerâncias aceitáveis (Caruso, 2006).

Acumular simplesmente contagens das anomalias de forma aritmética, sem perceber o que as originou, não nos permite prever o comportamento futuro das falhas e tomar acções em tempo útil para diminuir a sua probabilidade de ocorrência.

A *curva da banheira* é muito aplicada na análise de fiabilidade para representar o envelhecimento de um produto. Infelizmente, esta representação pode conduzir a falsas interpretações. Esta análise pode esconder características da vida do produto que levariam a uma melhor compreensão do seu comportamento e dos mecanismos que estiveram na origem da sua falha e permitiriam lidar de forma pró-activa com o envelhecimento da aeronave. Quanto mais complexo for o produto, mais importante se tornará o erro em que se ocorre devido a uma análise demasiado restrita à *curva da banheira*.

Quando se analisa a *curva da banheira*, numa situação de aquisição de um novo produto, dá-se mais atenção ao seu lado esquerdo em detrimento da análise do seu lado direito.

A concepção desta curva apresenta três problemas significativos. Em primeiro lugar, a curva não faculta informação sobre o que aconteceu quando o produto falhou. Em segundo lugar, não faculta informação sobre as causas que conduziram à degradação ou falha do produto. Por fim, a curva não faculta qualquer indicação sobre o que poderá acontecer ao produto na sua operação futura, no sentido de diminuir a sua probabilidade de falha. Como resultado da análise da *curva da banheira*, permanece-se sem conhecimento detalhado sobre o passado, o presente ou o futuro (Caruso, 2006)!

A fase inicial da vida de um produto compreende um período de tempo entre alguns meses e um ou dois anos. As falhas existentes neste período estão normalmente associadas a problemas de fabrico. Estes problemas podem ser de tal forma importantes que o produto não suportará muito tempo em serviço. Os mecanismos de degradação associados à fase inicial de vida do produto são completamente diferentes dos que resultam de vários anos de serviço operacional. Assim sendo, em termos de envelhecimento de uma aeronave, o conceito de fase de vida inicial – o lado esquerdo da *curva da banheira* – é essencialmente irrelevante (Caruso, 2006).

Durante a utilização do produto pelo operador, assume-se que o produto irá exhibir uma fiabilidade constante durante um largo período da sua vida útil. Durante este período, assume-se também que a taxa de falhas será suficientemente baixa para tornar o produto economicamente viável e operacionalmente disponível. No entanto, para uma taxa de falhas constante, as falhas continuam a existir.

Uma grande variedade de mecanismos de degradação e de processos de envelhecimento de diferentes materiais implicam uma degradação contínua do produto (ver figura 2).

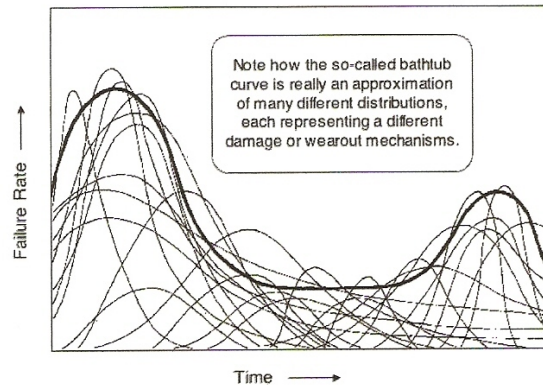


Figura 2 – A *curva da banheira* representa uma grande variedade de processos de envelhecimento associados a diferentes materiais.

Esta degradação pode tornar-se operacionalmente significativa durante a vida futura do produto. No entanto, pela análise da *curva da banheira*, assume-se erradamente que a aeronave não está a envelhecer, pois durante o período de taxa de falhas constante não nos faculta qualquer informação sobre os mecanismos de degradação.

No modelo tradicional de uma *curva da banheira*, o produto começa a sofrer um elevado desgaste após um determinado período de tempo e falha com mais frequência. Como resultado, a taxa de falhas começa a aumentar, formando o lado direito da *curva da banheira*. Num determinado ponto, a sustentação de um produto com um grande aumento da sua taxa de falhas torna-se economicamente ou operacionalmente inviável. Quando tal acontece, considera-se que o produto atingiu o fim da sua vida útil. No entanto, existe uma grande diferença entre envelhecimento e fim de vida útil. Considera-se que um produto atingiu o fim da sua vida útil quando:

- Está bastante danificado e é impossível a sua reparação;
- Tem um custo muito elevado ou é economicamente inviável a sua reparação;
- É incapaz de cumprir as funções associadas a tecnologias mais recentes, pode estar desactualizado para a função actual que é necessário desempenhar na aeronave, não apresenta condições de interoperabilidade ou adaptabilidade;

- Atinge a obsolescência, é incapaz de cumprir a sua função.

As aeronaves são plataformas de elevado valor e de prazos de entrega muito elevados, pelo que não são substituídas ou alienadas regularmente. As aeronaves militares devem ter uma disponibilidade elevada e cumprir continuamente as suas missões que garantem a defesa e segurança nacionais. Assim sendo, não existe fim de vida para uma aeronave a não ser que:

- Determinadas aeronaves se percam devido a acidente;
- Uma frota seja retirada de serviço a fim de ser substituída por uma outra mais recente ou porque se consegue desempenhar a missão por outros meios.

Enquanto existirem requisitos para o cumprimento de uma determinada missão, a aeronave deverá permanecer em operação. Deverão ser tomadas algumas medidas para que tal possa acontecer, tais como programas de extensão de vida, modernização de sistemas ou modificações estruturais. Desta forma, consegue-se manter ou restaurar a capacidade da aeronave para cumprir uma determinada missão. Por exemplo, a fadiga estrutural pode ocorrer em localizações específicas (asa, fuselagem, etc.) devido a:

- Tempo de vida útil em serviço ultrapassado, comparado com a vida útil de projecto;
- Alteração da missão;
- Requisitos operacionais mais exigentes;
- Aumento da frequência de utilização.

Poderão ser impostas algumas restrições à operação da aeronave (velocidade ou carga G) para conservar a sua vida de fadiga e manter a sua operação por um período mais longo.

Eventualmente, podem ser implementadas modificações estruturais para restaurar ou mesmo exceder as capacidades originais de desempenho da aeronave. Mesmo que uma *parte* de uma aeronave atinja o seu limite de vida útil individual, a aeronave completa não o atinge. Com a extensão da sua vida útil estrutural, outros elementos da aeronave podem ter agora que ultrapassar o seu tempo de vida útil de projecto.

Se um determinado sistema é modernizado a fim de se continuar a cumprir um determinado requisito da missão, a necessidade de a aeronave prolongar a sua vida como plataforma operacional continua ou aumenta. Assim, um novo ciclo de modificações estruturais, de materiais e de equipamentos deve ser previsto. **Como resultado, uma aeronave pode viver para sempre!** À medida que envelhece, a aeronave irá sofrer falhas, aumento das tolerâncias permitidas em operação e acumulação de danos que não foram previstos antecipadamente durante a sua vida operacional (Caruso, 2006).

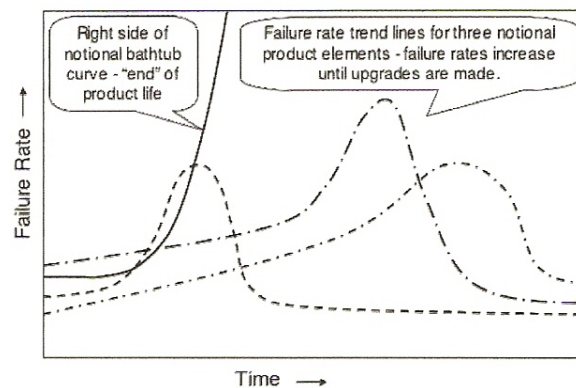


Figura 3 – Aumento da taxa de falhas na *curva da banheira* tradicional, o qual não representa o fim de vida de uma aeronave.

Como se pode ver na figura 3, o lado direito da *curva da banheira* passa a representar uma coexistência de processos de degradação e de rejuvenescimento dos produtos, conseguidos através de consecutivas modernizações e de programas de extensão de vida. Esta é a situação em que se encontram a maioria das frotas envelhecidas actualmente e é uma área para a qual os métodos tradicionais de representação da fiabilidade dos produtos não facultam a informação pertinente e necessária à tomada de decisão.

4. O Modelo AAMP “Ageing Aircraft Management Program” de apoio à gestão de frotas envelhecidas

Neste Capítulo será discutido o modelo de Gauntlett, o processo AAMP (“Ageing Aircraft Management Program”) de gestão do envelhecimento de frotas, o qual não só

identifica problemas do envelhecimento, mas também de manutenção, de recursos e de capacidades técnicas e logísticas, todos eles influentes no fim de vida dos componentes.

Geralmente, *Programas de Gestão de Aeronaves Envelhecidas* estão associados a fadiga estrutural ou degradação de cablagens e, através do envelhecimento das frotas de operadores em todo o mundo, obtém-se conhecimento sobre os efeitos do envelhecimento e sobre as melhores formas de lidar com as suas consequências. No entanto, um programa associado a uma aeronave envelhecida não deve somente focar-se nos aspectos conhecidos mas também nos aspectos desconhecidos. Não deve limitar-se somente a um determinado tipo de sistema da aeronave, deve incorporar todo o sistema de armas. Uma aeronave é uma integração complexa de sistemas e componentes com determinadas funções específicas, pelo que se torna uma plataforma onerosa de manter. Assim sendo, o conhecimento obtido sobre envelhecimento de aeronaves pode ser uma ferramenta muito importante na gestão global de uma frota, integrando os aspectos resultantes do envelhecimento das aeronaves na gestão corrente de um sistema de armas.

A metodologia AAMP é uma forma de gerir a maturidade, de estender a *curva da banheira* (ver figura 4) e de prolongar a vida útil de uma plataforma. A *curva da banheira* típica representa as três fases de fiabilidade de um sistema, mas a forma da curva será também afectada pelo aumento da fiabilidade e capacidade da plataforma ao longo da sua vida útil devido à incorporação de modificações.

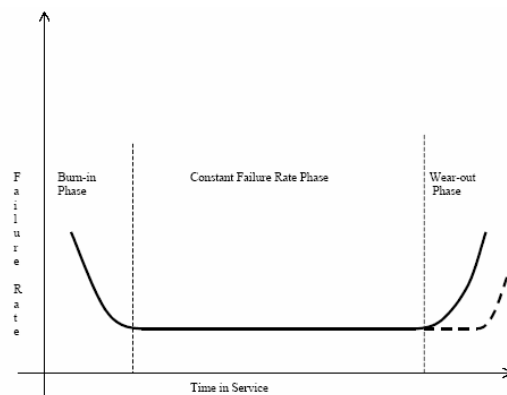


Figura 4 – Extensão da *curva da banheira*, prolongamento da vida útil de uma plataforma.

O programa não só identifica problemas do envelhecimento, mas também de manutenção, de recursos e de capacidades técnicas e logísticas, todos eles influentes no fim de vida dos componentes. Trata-se, efectivamente, de gerir o fim de vida de um determinado sistema ou plataforma de forma eficiente.

De facto, modificações periódicas da plataforma para melhorar a sua fiabilidade e disponibilidade representam um aumento nos custos de exploração durante um determinado período.

O programa aqui descrito deverá ser executado por uma equipa de engenheiros e de especialistas em logística, os quais estejam familiarizados e em contacto permanente com frotas envelhecidas e que conheçam os factores associados à gestão destas frotas, tais como o seu desgaste em utilização ou as dificuldades de satisfação de determinadas necessidades logísticas. O desconhecimento destes e de outros factores poderá pôr em causa a segurança de operação da plataforma, a sua prontidão e a gestão ideal dos recursos. Apesar do aparecimento de um determinado problema, e de a sua origem estar associada ao envelhecimento da plataforma ou a manutenção defeituosa, o objectivo é sempre repor a aeronave em serviço no mais curto espaço de tempo e a um custo mínimo.

a. O processo AAMP

O diagrama seguinte (ver figura 5) é uma representação de como o processo funciona, o qual se descreve de seguida.

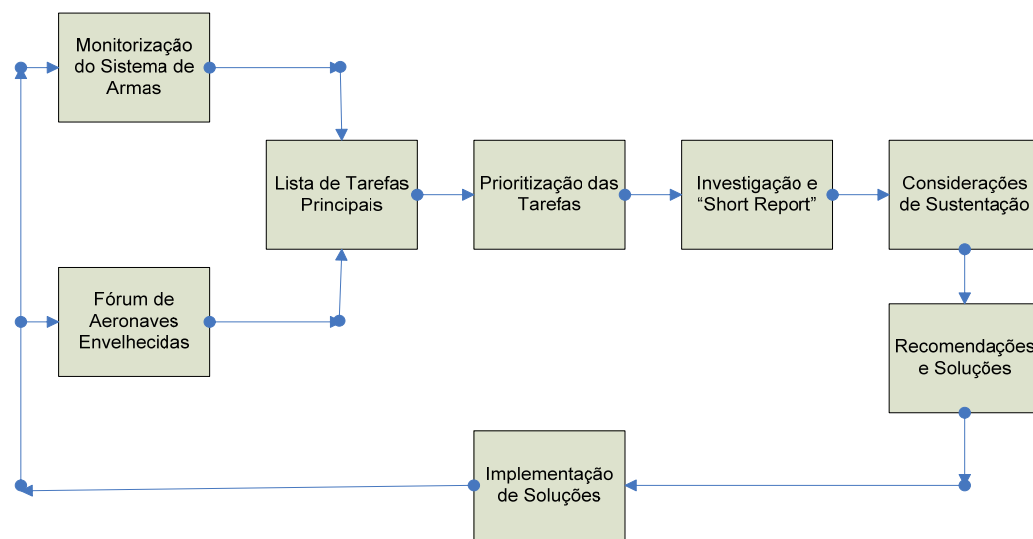


Figura 5 – O processo AAMP (“Ageing Aircraft Management Program”).

O diagrama indica duas grandes entradas de informação para o início do processo, do lado esquerdo do mesmo.

b. Monitorização do Sistema de Armas

Deverá haver uma equipa, de Análise de Condição, dedicada à análise regular (anual, semestral ou com a periodicidade que se julgar necessária consoante a criticidade dos problemas) dos dados de falhas dos sistemas num determinado período. Deverá existir uma base de dados para o efeito. Caso não exista, deverá ser criada de forma a reunir toda a informação relativa a falhas de componentes, as quais possam ser analisadas de forma exaustiva no mais curto espaço de tempo. Será também importante que esta equipa analise toda a informação disponível relacionada com o envelhecimento dos sistemas de armas, a qual por vezes é registada diariamente. Um destes casos é o registo de contagens de factores de carga da aeronave Alpha Jet, das quais se podem retirar conclusões quanto à vida de fadiga útil remanescente de cada aeronave da frota.

A análise dos dados existentes permitirá também determinar a validade dos mesmos, pois estes contêm sempre uma determinada percentagem de irregularidades. Para a aeronave Alpha Jet, a percentagem de dados válidos obtidos das leituras dos contadores de G's, a partir das quais se pode avaliar a vida de fadiga remanescente da aeronave, é de cerca de 50 %.

c. Fórum de Aeronaves Envelhecidas

A segunda fase do processo é o Fórum de Aeronaves Envelhecidas. Pretende-se com este Fórum obter informação adicional que conduza à resolução das anomalias encontradas, ou pela monitorização dos sistemas de armas, proveniente da experiência em operação ou pela tomada de conhecimento de ocorrências de outros operadores. Este fórum pode ser efectuado para uma ou várias aeronaves e pode envolver a participação de um ou vários operadores, a fim de debaterem assuntos relacionados com a sustentação de uma determinada frota. Para que tal se verifique, podem ser criadas reuniões específicas sobre determinados assuntos, envolvendo especialistas de cada área, e reuniões de

carácter geral com assuntos de interesse comum para as equipas envolvidas nas mesmas.

Este fórum terá uma periodicidade relacionada com os assuntos a tratar, com a sua criticidade técnica ou orçamental. Poderão ser ainda tratados assuntos relacionados com modificações ou projectos em curso em cada frota.

Neste fórum deverão participar Gestores de Frota e elementos da Engenharia dos Sistemas de Armas, da Manutenção, da Qualidade e da Certificação de Aeronavegabilidade. Deverão também participar elementos especialistas, civis ou militares, que possam contribuir para a resolução de um determinado problema, quando tal se julgar necessário.

Para abordar um determinado assunto específico, poderá ser organizada uma reunião com um ou vários operadores ou fabricantes de um determinado sistema, onde se julgue mais conveniente, a fim de se tentar resolver um determinado problema. Esta solução poderá ser uma alternativa às reuniões periódicas contratuais, que por vezes envolvem custos de preparação e deslocação sem que exista verdadeiramente uma grande necessidade técnica para a sua realização.

d. Lista de Tarefas Principais

Os modos de falha identificados durante o processo de monitorização deverão dar origem a uma lista de tarefas principais. Os riscos dos sistemas de armas identificados pelos participantes no fórum de aeronaves envelhecidas dão também entrada na lista de tarefas principais a fim de serem avaliados e são identificados como tarefas a investigar.

As tarefas são categorizadas e prioritizadas pela lista de tarefas principais, a qual é um documento de trabalho. De acordo com a metodologia AAMP, as várias tarefas serão classificadas tendo como referência as categorias de segurança de voo, disponibilidade de meios para se resolver a tarefa, custo associado à resolução da tarefa e urgência da sua resolução. Os pesos atribuídos às várias categorias poderão ser trabalhados consoante a metodologia de manutenção adoptada pelo operador ou pelo fabricante para um determinado sistema de armas.

O resultado final é uma pontuação que prioriza a ordem pela qual as tarefas de investigação devem ser conduzidas. Os itens críticos por segurança de voo recebem sempre a mais elevada prioridade.

e. Investigação e Relatório

Para cada tarefa identificada, na ordem estabelecida pela Lista de Tarefas Principais, inicia-se a sua investigação. Serão elaborados inicialmente “*Short Reports*” de duas a quatro páginas com informação relativa ao estado actual do órgão, o qual se torna ainda mais importante se já tiver passado um longo período desde a sua análise de fiabilidade. Esta investigação considera:

- Ponto de situação das últimas falhas (fiabilidade);
- Relatórios de anomalias e ocorrências de segurança de voo;
- Situações de “*aircraft on ground*” (AOG) ou canibalizações durante o período considerado (disponibilidade);
- Número de unidades em stock, com anomalias e em serviço;
- Análise do problema com os operadores e mecânicos, a fim de avaliar se todos os detalhes foram considerados;
- Situação do órgão, tendo em consideração os equipamentos de teste, mão-de-obra consumida no mesmo e publicações técnicas existentes;
- Análise de outra documentação relacionada com o órgão, tal como manuais do fabricante e de outros operadores;
- Avaliação, se necessário com especialistas externos, do problema.

Após se determinar o estado actual, tendo em consideração aspectos logísticos e de engenharia, as recomendações são feitas e accionadas de acordo com os requisitos de segurança, disponibilidade e custo associado. Dependendo do resultado da análise, uma investigação mais profunda pode ser necessária, ou podem ser redefinidas as prioridades ou a urgência do assunto na reunião seguinte ou, se necessário, numa reunião de ponto de situação específica.

Durante o processo de investigação, consoante a necessidade, serão consultados especialistas nas várias áreas, pois são quem trabalha com o componente e podem ser uma fonte de informação importante para determinar as causas ou a origem do problema e o seu impacto na operação.

f. Gestão da Sustentação de um Sistema de Armas

O método de monitorização utilizado pela metodologia AAMP não só alerta para a tomada de decisão para problemas actuais, também permite uma análise e acompanhamento de problemas já existentes. Considerando que toda a informação sobre um determinado componente é analisada, com os vários especialistas envolvidos num determinado assunto, então consegue-se identificar o estado geral do componente e formular requisitos de sustentação futura do órgão. Esta aproximação é muito importante pois dela irá depender a acção a tomar no sentido de substituir, reparar ou alienar um determinado órgão.

As questões a que se deve responder nesta análise são as seguintes:

- Quais os problemas identificados no órgão;
- Na sua condição actual, qual será a sua vida útil;
- Para que a aeronave possa continuar a cumprir uma determinada missão, quais as acções a tomar para resolver o problema em questão;
- Qual será o custo associado a essas acções;

Se se conseguir responder a estas questões com a maior antecedência possível, consegue-se avaliar a viabilidade de manter o órgão em operação. Será importante ter em consideração o custo associado à sua operação, a capacidade interna ou externa para a sua reparação e, se for necessário substituí-lo, a existência no mercado de algum componente semelhante, pois pode ser um órgão obsoleto.

Fazendo um trabalho pró-activo, podem ser alcançados resultados muito positivos na gestão de aeronaves envelhecidas, relacionando as áreas técnica e logística, as quais devem trabalhar em coordenação. A metodologia AAMP permite trabalhar estes aspectos e assegura que todos os especialistas envolvidos num determinado assunto dão o seu contributo para a resolução do mesmo, diminuindo ou eliminando o impacto negativo que uma acção tardia teria na operação de um determinado órgão e, consequentemente, na operação das aeronaves.

g. Considerações Orçamentais

O orçamento associado à sustentação de uma plataforma envelhecida no seu período final de vida útil é tipicamente limitado. No entanto, esta prioridade deverá

ser revista se se identificarem, na lista de tarefas principais, problemas com prioridade elevada. Se não existir orçamento disponível para os resolver, haverá um impacto directo negativo na sustentação da plataforma ou mesmo na respectiva frota. Há que fazer uma previsão adequada de custos para uma frota envelhecida, de acordo com as necessidades operacionais, a fim de elaborar um plano de custos detalhado com a maior antecedência possível. No entanto, deverá ser avaliada a relação custo/benefício de uma determinada acção, pois esta pode não se justificar a prazo. Deverá ser analisado o período de rentabilização do investimento que, no máximo, deverá ser igual ao período de operação remanescente para a plataforma em causa.

Conclusões

Pretendeu-se com este trabalho de investigação obter mais conhecimento sobre a temática da gestão do envelhecimento das aeronaves e sobre os instrumentos que poderão sustentar as decisões relativas a uma aeronave numa fase avançada do seu ciclo de vida, em que evidencia desgaste provocado pelos efeitos do envelhecimento e do uso. A investigação realizada permitiu explorar esta temática, através da análise de modelos, a qual permitiu a validação das hipóteses formuladas e, assim, dar resposta às perguntas derivadas e à pergunta de partida.

No capítulo dois é analisado o modelo de Kopp, o qual reflecte vários factores que podem contribuir para uma gestão adequada do envelhecimento de uma frota de aeronaves, do qual se conclui o seguinte:

- O envelhecimento de uma aeronave pode ter pouca influência na sua vida útil se um planeamento de gestão adequado for posto em prática e se um programa robusto de envelhecimento de aeronaves for implementado tão cedo quanto possível durante o seu ciclo de vida.
- A qualidade na manutenção pode ter um impacto crítico na longevidade de uma aeronave e a substituição rápida de componentes ou sistemas com desgaste acentuado ou com fiabilidade muito baixa pode reduzir significativamente os custos a longo prazo, sejam custos associados à sustentação desses sistemas ou à substituição tardia dos mesmos. Esta substituição tardia pode levar a um custo muito elevado do equipamento, pois cada vez se torna mais difícil obtê-lo, ou mesmo à inutilização do sistema ou cancelamento do tipo de missão em que o mesmo é utilizado, pois este pode tornar-se obsoleto.
- Os custos associados ao ciclo de vida devem ser monitorizados, a fim de se avaliarem as decisões tomadas, de se encontrarem soluções que permitam implementar programas de redução de custos e de se definir objectivos logísticos. As reparações de baixo custo em sistemas de armas de custo elevado aparentam ser sempre uma boa solução, mas o mesmo não se pode dizer de reparações e substituições onerosas em frotas demasiado envelhecidas. Mesmo que tal se possa justificar pelo estado geral da célula de uma aeronave, o sistema de armas pode estar obsoleto para a missão que foi projectado.

- Devem ser identificadas deficiências no sistema de armas e avaliadas as vantagens e inconvenientes de cada alteração do projecto e da modificação no apoio logístico associado, antes de se tomar qualquer decisão de modificação.

Analisando o modelo de Kopp, o qual reflecte vários factores que, se devidamente considerados e analisados, podem contribuir para uma gestão adequada do envelhecimento de uma frota de aeronaves, considera-se validada a hipótese de que uma decisão que conduza à reparação, a um programa de extensão de vida ou à retirada de serviço de uma determinada aeronave deve resultar de uma análise profunda de factores técnicos e logísticos. Esta análise conduziu também à resposta parcial à primeira pergunta derivada, pois este modelo constitui um instrumento que poderá sustentar a tomada de decisões quanto ao futuro de uma determinada aeronave envelhecida.

No capítulo três, foram analisados dois modelos que representam abordagens diferentes à utilização da *curva da banheira* no que respeita à sua utilização como ferramenta de apoio à gestão. Enquanto o modelo de Kopp se baseia na *curva da banheira* como instrumento fundamental para a tomada de decisão, o modelo de Caruso revela-nos alguns factores a considerar na análise desta curva, referindo que esta deve ser um ponto de partida para uma análise mais pormenorizada, pois a *curva da banheira* tradicional de fiabilidade invoca uma conveniência estatística de apresentar uma perspectiva distorcida do envelhecimento de um produto. A *curva da banheira* é uma representação média de probabilidades. A sua forma exacta varia de aeronave para aeronave, de frota para frota e, de facto, de componente para componente.

De acordo com o modelo de Caruso, deve ter-se em atenção que a *curva da banheira* não representa completamente as características actuais de um determinado produto pois não identifica as várias realidades físicas e estruturais do mesmo:

- O envelhecimento continua a atingir um produto, mesmo que a taxa de falhas seja constante;
- Eventualmente, modificações estruturais podem ser implementadas para restaurar ou mesmo exceder as capacidades originais de desempenho da aeronave;
- Mesmo que uma *parte* de uma aeronave atinja o seu limite de vida útil individual, a aeronave completa não o atinge;

- Com a extensão da sua vida útil estrutural, outros elementos da aeronave podem ter agora que ultrapassar o seu tempo de vida útil de projecto.

A *curva da banheira* é um instrumento que pode fornecer uma indicação inicial de comportamento de um determinado componente, devendo ser aprofundada a informação que lhe dá origem, a fim de ser utilizada como ferramenta de apoio à gestão do envelhecimento de aeronaves.

Considera-se, assim, validada a hipótese de que a *curva da banheira* é um instrumento adequado de apoio à gestão do envelhecimento de aeronaves. Conseguiu-se, através desta análise, responder à primeira pergunta derivada, pois a análise da *curva da banheira* constitui um instrumento que poderá sustentar as decisões de reparar, estender a vida ou retirar de serviço uma aeronave envelhecida.

A metodologia AAMP, analisada no capítulo quatro, torna-se o centro da sustentação de um sistema de armas pois permite avaliar os problemas que mais afectam um determinado sistema e definir as prioridades das acções a tomar. Esta metodologia reflecte a situação actual de um determinado sistema. As investigações que resultam deste método aumentam o conhecimento dos sistemas e permitem prever e acompanhar o seu envelhecimento. Este aumento de conhecimento permite melhorar a manutenção e gestão do sistema de armas e conduzir os assuntos relacionados com o envelhecimento como assuntos de rotina. Os efeitos do envelhecimento são identificados e analisados. Seguidamente são definidas as acções a tomar para a sua resolução. Estes efeitos são tratados por uma determinada prioridade, considerando primariamente os assuntos relacionados com a segurança de operação e com aeronavegabilidade do sistema de armas. Após esta análise, deverá ser encontrada a melhor relação custo/benefício para a resolução do problema. No caso da aeronave Alpha Jet, por exemplo, o programa de gestão do seu envelhecimento na FAP foi iniciado tardiamente. No entanto, a disponibilidade de aeronaves aumentou nos últimos três anos e os problemas relacionados com o seu envelhecimento, após profunda análise, são hoje largamente conhecidos (DMA, 2006).

No que respeita ao investimento duas soluções são possíveis, sendo a primeira a de despende pequenos orçamentos de forma gradual e a segunda a de despende uma verba elevada de uma só vez. Para decidir qual delas será a mais indicada, terá de existir uma gestão pró-activa do orçamento e dos restantes recursos, a fim de se adoptar a melhor solução para o cumprimento da missão.

Quanto mais cedo se tomarem as decisões, menor será o impacto negativo que poderá ser provocado pelas decisões tardias.

Não se pode evitar o envelhecimento de uma aeronave, mas pode-se limitar a sua taxa de degradação.

Da análise efectuada neste capítulo conclui-se também que o processo apresentado constitui uma ferramenta importante na sustentação de uma frota em qualquer fase do seu ciclo de vida, incluindo os programas de extensão de vida.

Considera-se assim que esta será a resposta à segunda pergunta derivada, pois a utilização de uma metodologia semelhante à apresentada resultará num adequado acompanhamento de programas de extensão de vida na FAP.

Os vários modelos investigados neste trabalho revelaram ser ferramentas úteis para apoio à tomada de decisões quanto ao futuro de uma determinada frota. No entanto, para que seja tomada a decisão de extensão de vida, modernização ou alienação de uma aeronave ou de uma frota, devem desenvolver-se de forma contínua, durante o período de operação das frotas, actividades de manutenção e todas as funções logísticas associadas à operação de um sistema de armas, tais como:

- Gestão do controlo de configuração;
- Análise e avaliação dos dados recebidos das Unidades Operacionais relativos ao sistema de armas e ao seu apoio logístico;
- Identificação e desenvolvimento de possíveis melhorias aos equipamentos e sistemas de apoio e optimização dos custos do ciclo de vida;
- Identificação de deficiências no sistema de armas e avaliação de vantagens e inconvenientes de cada alteração do projecto e da modificação do apoio logístico associado, antes de tomar qualquer decisão de modificação.

Enquanto existirem requisitos para o cumprimento de uma determinada missão, a aeronave deverá permanecer em operação. Deverão ser tomadas algumas medidas para que tal possa acontecer, tais como programas de extensão de vida, modernização de sistemas ou modificações estruturais. Desta forma, consegue-se manter ou restaurar a capacidade da aeronave para cumprir uma determinada missão.

São pré-requisitos para a modernização a vida remanescente da célula da aeronave na operação pretendida para a frota (análise da vida de fadiga remanescente, tal como é

efectuada na FAP para o Alpha Jet) e a capacidade de uma célula básica suportar os requisitos de performance para cumprir a sua missão perante uma ameaça futura.

A decisão de abate de um sistema de armas do inventário, dependerá normalmente de um equilíbrio de factores relacionados com a idade, a eficácia operacional, os custos de manutenção, as modificações durante a sua vida, a natureza da ameaça, a disponibilidade e o custo do possível sistema de armas que o substitua, os requisitos do Estado-Maior e os compromissos nacionais e internacionais.

Se se optar, após a análise de todos os factores, pela alienação de uma aeronave ou de uma frota, deve ser tido em conta a morosidade desse processo, devido a exigências legais, e ao prejuízo que resulta, por vezes, dessa morosidade. Quando existe uma frota em processo de alienação, há que ter atenção ao valor de mercado dessa frota. Se, após solicitações externas para a venda do material, não existe resposta em tempo útil, passa a existir desinteresse por parte do comprador. Também o valor de mercado dos componentes a alienar começa a diminuir, podendo mesmo, no limite, ser da responsabilidade de quem vai alienar o material o pagamento do processo de destruição e remoção do material que não foi vendido.

Como resultado do estudo efectuado pelo autor, o qual se baseou na necessidade de obter mais informação sobre metodologias de gestão do envelhecimento de aeronaves, propõe-se que seja criada uma estrutura que possa funcionar de acordo com a metodologia AAMP, a fim de, de uma forma pró-activa, responder no mais curto espaço de tempo às necessidades técnicas e logísticas das frotas.

Propõe-se também que seja ministrada nos cursos específicos das diferentes aeronaves da FAP e a pessoal que desempenha ou desempenhará funções como Gestor de Frota uma disciplina relativa à gestão do envelhecimento de frotas.

Bibliografia

BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. (1997). *Systems engineering and analysis*. 3^a ed, New Jersey: Prentice-Hall.

BLANCHARD, B.S., VERMA, D., PETERSON, E. L. (1994). *Maintainability: A key to effective serviceability and maintenance management*. Nova Iorque: A. Wiley-Interscience Publication.

DIRECÇÃO DE MECÂNICA AERONÁUTICA (2006). *Relatório de seguimento da vida de fadiga da frota Alpha Jet*. Lisboa: Comando Logístico e Administrativo da Força Aérea.

HERSEY, P., BLANCHARD, K. H. (1977). *Management of Organizational Behavior: Utilizing Human Resources*. New Jersey: Prentice-Hall.

SAGE, A.P., ROUSE, W. B. (1999). *Handbook of Systems Engineering and Management*. Nova Iorque: John Wiley & Sons.

STEVENS, R. (1998). *Systems Engineering Coping With Complexity*. Londres: Prentice Hall Europe.

CARUSO, Hank. *Too Much Time in the Bathtub (Curve) – An Aging Aircraft Paradigm that Doesn't Hold Water* [em linha]. November 2006 [referência de 20 de Janeiro de 2006]. Disponível na Internet em: <www.agingaircraftconference.org>.

GAUNTLETT, Richard. *A Complete Ageing Aircraft Program - Managing Ageing Downtime* [em linha]. 2006 [referência de 20 de Janeiro de 2006]. Disponível na Internet em: <www.agingaircraftconference.org>.

KOPP, Carlo. *Managing Ageing Aircraft Parts I/II* [em linha]. November 2003 [referência de 20 de Janeiro de 2006]. Disponível na Internet em: <www.agingaircraftconference.org>.

KOPP, Carlo. *Mid Life Refits, The Affordable Option* [em linha]. 2005 [referência de 20 de Janeiro de 2006]. Disponível na Internet em: <www.agingaircraftconference.org>.

VELARDE, J.R.. *Responding to the Ageing Aircraft Challenge* [em linha]. 2006 [referência de 20 de Janeiro de 2006]. Disponível na Internet em: <www.agingaircraftconference.org>.